



УДК 658

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗАЩИЩЕННОСТИ ПРОМЫСЛОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА РФ

В.А. Акимов, Ф.М. Дедученко, Р.А. Дурнев (ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России, РФ, Москва), **А.Т. Рвачев** (Департамент гражданской защиты МЧС России, РФ, Москва), **А.К. Арабский** (ООО «Газпром добыча Ямбург», РФ, Новый Уренгой), **А.Б. Кульчицкий** (ОАО «Севернефтегазпром», РФ, с. Красноселькуп), **В.А. Меньшиков** (Ассоциация «Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга и прогнозирования», Московская обл.)

E-mail: fmd11@mail.ru

Концепция создания Единой системы комплексной безопасности и защищенности (СКБЗ) базируется на результатах проведенных целевых НИОКР. Система ориентирована на решение средствами автоматизации задач раннего обнаружения и парирования развития наиболее затратных по последствиям техногенных катастроф. Это позволит значимо снизить риски их развития при штатной эксплуатации промыслов нефтегазового комплекса (ПНГК). В целом СКБЗ и ее последующая общетехническая модификация позиционируются как базовая технологическая компонента Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), способная остановить развитие эпидемии техногенных катастроф.

Ключевые слова: сложная техническая система, газовый промысел, уровни безопасности, локальные и системные аварии, техногенная катастрофа, структурная неустойчивость, типовой сценарий развития катастроф, система комплексной безопасности и защищенности, наземная и космическая подсистемы системы безопасности, качество объектной ориентируемости систем безопасности.

В Российской Федерации определяющим фактором для фронта работ по обеспечению комплексной безопасности и защищенности (ОКБЗ) явился в последние 35 лет экспоненциальный рост в мире числа техногенных катастроф, признанный ООН эпидемией с выраженной неспособностью общества остановить ее развитие. Так, объявленное Генеральной ассамблеей ООН Международное 10-летие по снижению опасности стихийных бедствий (в том числе природно-техногенного характера) завершилось практически безрезультатно. Процессы же развития техногенных катастроф по-

стоянию на данный момент по-прежнему остаются глобально неподконтрольными, в связи с чем XXI в. был определен как век великих техногенных катастроф, к середине которого впервые в мировой истории рост глобального валового продукта может быть остановлен.

В России вопросы обеспечения национальной безопасности в техногенной сфере находятся в центре внимания на государственном уровне, став доминирующими и ключевыми в сохранении и развитии экономического, ресурсного и оборонного потенциалов страны. При этом ввиду масштабов и стратеги-

Comprehensive safety protection system for Russian upstream oil and gas: Common concept issues

Akimov V.A., Deduchenko F.M., Durnev R.A. (FGBU VNIIT GOChS MChS Rossii, RF Moscow), **Rvachev A.T.** (Department of Civil Protection Ministry of Emergency Situations of Russia, RF, Moscow), **Arabskiy A.K.** (OOO Gazprom Dobycha Yamburg, RF, Novy Urengoy), **Kulchitskiy A.B.** (OAO Severneftegazprom, RF, Krasnoselkup), **Menshikov V.A.** (Association «International global monitoring aerospace system and forecasting», RF, Moskovskaya obl.)

E-mail: fmd11@mail.ru

This Common Concept for Russian upstream oil and gas safety protection system is built around a series of targeted R&D projects undertaken in recent years domestically. The entire system focuses on multiple process automation tools designed for early detection and avoidance of technology-driven emergencies, especially those with most costly implications. This approach is expected to cut most risks associated with undesirable developments under normal oil and gas industry operations. In general terms, the system, coupled with follow-up modifications, can be positioned as a basic technology component of Russian Unified Emergency Rescue Service originally designed to prohibit wide-scale technology-related catastrophic implications.

Keywords: technology framework, oil and gas, upstream, security level, emergencies, technology-driven catastrophe, structural instability, scenario, safety protection, subsystem, quality.

ческой важности решения проблемы генеральным заказчиком и гарантом развития этого инновационного направления должно выступать государство.

Угрозы техногенной безопасности создаются на всех стадиях жизненного цикла сложных технических систем (СТС). Катастрофы в них случаются как на объек-



тах с большой наработкой оборудования, так и на только что введенных в штатную эксплуатацию – вышедших из капитального ремонта или даже новых. При этом определяющим в развитии катастроф является прогрессирующее конструктивное и технологическое усложнение вновь создаваемой технической продукции, в первую очередь критически важных объектов (КВО), при очевидном отставании из-за гипертрофированно реализованного принципа прибыльности в получении научных и особенно прикладных знаний, ориентированных на обеспечение подконтрольности техноинфраструктуры. В то же время существенно меньшую значимость имеют техническое состояние составляющих компонентов КВО и даже их наработка. Среди таких КВО – потенциальные центры экономического роста (ЦЭР) России, часть которых расположена в арктической и субарктической зонах РФ. Все они относятся к классу СТС, для которых проблема ОКБЗ имеет первостепенное значение, начиная со стадии выдачи технических заданий на проектирование и обустройство каждого конкретного ЦЭР, не говоря уже об их последующей эксплуатации. На решение этих проблем и были направлены усилия основных инициаторов разработки Концепции создания единой системы комплексной техногенной безопасности и защищенности отраслей нефтегазового комплекса РФ (далее – Концепция) [1] – МЧС России, ПАО «Газпром», Федерального космического агентства, Российской академии наук, Минобрнауки, Государственного комитета по науке Республики Армения.

Важным фактором успешного выполнения работ по ОКБЗ ПНГК стало объединение базовых заделов МЧС России, Роскосмоса (диагностирование и аварийная защита маршевых жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) космического назначения) и ПАО «Газпром» (научно-экспериментальная отработка основ концепции ОКБЗ и создание сертифицированного на взрывобезопасность прямого прототипа системы комплексной безопасности и защищенности

(СКБЗ) ПНГК). В свою очередь, включающая две функционально паритетные подсистемы – наземную и космическую – СКБЗ ПНГК представляет собой естественный прототип для создания нового поколения общетехнических СКБЗ СТС, как базовой технологической компоненты Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в РФ¹ [2].

1. Аварии и катастрофы в сложных технических системах

Устоявшейся общепринятой терминологии в отношении техногенных аварий и катастроф до сих пор не существует. В технике чаще всего отличающие их признаки базируются на простом масштабировании размеров причиненного ими ущерба. Так, в государственных (ГОСТ Р 22.0.05–94, ГОСТ 22.0.05–97)² и международных стандартах катастрофа определена как крупная промышленная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей либо разрушение и уничтожение объектов, материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному ущербу окружающей среде. Данное определение, важное во всех процедурах ранжирования состоявшихся катастроф, проведения по ним экспертных исследований, принятия решений и т. п., совершенно не конструктивно с точки зрения раннего обнаружения и тем более парирования развития катастроф, да и для решения всего класса задач ОКБЗ. В то же время еще в 50-х гг. прошлого века было введено и со временем доведено до рабочего использования научное определение понятия катастрофы в СТС как эффекта потери системой ее структурной (глобальной) устойчивости³ [3, 4], отличающейся от традиционно учитываемой устойчивости по Ляпунову. В научном и техническом аспектах новое направление особенно интенсифицировалось в последние десятилетия. В настоящей работе принято определение катастрофы, адекватное научному, в котором внимание акцентировано на порождающем ее физическом механизме.

С этой точки зрения существует всего два типа радикально различающихся эксцессов в СТС – локальные аварии в элементах СТС и системные аварии в СТС в целом (они же техногенные катастрофы). При этом развитие первых не обязательно упреждает развитие вторых: СТС подходит к своему системному кризису, как правило, целиком, а не своими частями. Физические процессы, приводящие к катастрофе, являются принципиально многофакторными, ни один из которых в отдельности решающей роли не играет. При этом чем в большей степени элементы СТС структурно связаны между собой, тем более выраженной оказывается зависимость ее состояния от характера взаимного расположения и механизма коллективного взаимодействия ее элементов, а не от их индивидуальных свойств и состояний.

В контексте сказанного под термином «комплексная безопасность СТС» далее будет пониматься отсутствие опасности развития в СТС техногенных катастроф в том их толковании, каким оно приведено выше. Это тем более осмысленно, что даже термин «безопасность» толкуется в технике неоднозначно, а под «комплексной безопасностью» чаще всего понимают достаточно большой охват многокомпонентной СТС средствами локальной безопасности, что, как будет ясно из последующего, принципиально не решает проблемы ОКБЗ.

Таким образом, для нового поколения СКБЗ ПНГК базовым является приведенное выше понятие комплексной безопасности как характеристики ПНГК в целом, а не объектов его обустройства.

На данный момент для решения задач обеспечения локальной безопасности компонентов СТС, в том числе и ПНГК, на рынке представлен широкий ассортимент технических средств и технологий. Что касается решения задач обеспечения системной (комплексной) безопасности СТС с ранним обнаружением и парированием развития катастроф, то ситуация здесь противоположна – полностью отсутствуют имеющие прикладную значимость наработ-

¹ Постановление Правительства РФ от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» в ред. от 27 мая 2005 г. № 335.

² ГОСТ Р 22.0.05–94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения; Межгосударственный стандарт ГОСТ 22.0.05–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

³ Касти Дж. Большие системы (связность, сложность и катастрофы). – М.: Мир, 1982. – 216 с.; Томсон Дж. Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. – М.: Мир, 1985. – 254 с.



ки по направлению ОКБЗ (и это при том, что в теоретическом плане достигнут достаточно высокий уровень осознания проблемы). Подтверждает сказанное и опыт работы многих экспертных комиссий по разбору состоявшихся катастроф, эффективность которых в техническом плане крайне низка, а традиционная приоритетность поиска «человеческого» и социального факторов решению проблемы ОКБЗ никак не способствует.

2. Основные задачи ОКБЗ ПНГК

Очевидно, что проблема ОКБЗ СТС имеет общетехническое значение. В данной работе она конкретизирована в отношении ПНГК по причинам их стратегической важности для страны, опасного характера сквозной производственной схемы и, главное, сформированного инициаторами разработки Концепции сводного профильного базового задела, включающего, в том числе, результаты проведенных на реальных ПНГК ПАО «Газпром» и ОАО «Севернефтегазпром» НИОКР. Как отмечалось, СКБЗ ПНГК должна включать две функционально паритетные по значимости подсистемы – наземную (НП СКБЗ) и космическую (КП СКБЗ). С точки же зрения трудностей реализации программы создания СКБЗ, адекватной настоящей Концепции, эти подсистемы неравнозначны, так как работы по ОКБЗ ПНГК пришлось начинать буквально с чистого листа, причем относилось это прежде всего к «наземным» проблемам, обладающим исключительной специфичностью и изначальной неясностью даже в самих постановках задач. Потребовалось проведение многолетних НИР и НИОКР на реальных ПНГК, чтобы появилась доказательная определенность, достаточная для разработки и защиты данной Концепции. Именно они и позволили сформировать сводный базовый научно-экспериментальный задел по ОКБЗ ПНГК. В его составе и предусмотренное законом решение задач раннего обнаружения и предупреждения опасных просадок грунтов по территории ПНГК маркшейдерско-геодезическим мониторингом, с оценкой геомеханических, геодинамических и геокриологических параметров

месторождений. В отношении последних анализировалась их совместимость с контролем подъема газовой контакта (ГВК) инновационным методом измерения вариаций гравитационного поля.

Учитывая сказанное, общий состав задач ОКБЗ включает:

- решение проблем обеспечения информативности ПНГК и объектов их обустройства, достаточной для полноценного решения задач ОКБЗ;
- окончательную доводку системного технологического обеспечения направления ОКБЗ;
- решение в комплексе не только задач обеспечения безопасности, но и защищенности ПНГК, исключающей возникновение опасной ситуации уже на стадии приближения к критическому состоянию, т.е. саму возможность реализации структурной неустойчивости и, как следствие, развития катастрофы;
- разработку программно-аппаратных средств НП СКБЗ (с учетом созданного прототипа СКБЗ ПНГК);
- разработку программно-аппаратных средств КП СКБЗ ПНГК;
- создание системно увязанного с СКБЗ ПНГК портативного приборного ряда, обеспечивающего охват неподконтрольных объектов их обустройства;
- обеспечение важного потребительского качества – объектной ориентируемости СКБЗ в целом с возможностью ее глубокой начальной и актуализируемой по регламенту адаптацией к конкретным ПНГК;
- паспортизацию ПНГК и объектов его обустройства по критериям их комплексной безопасности и защищенности;
- обеспечение безопасности периметров и границ ПНГК во всех трех средах (на базе технологического задела Республики Армения [1]);
- учет возможного взаимодействия природных и техногенных факторов в задачах ОКБЗ ПНГК;
- доводку технологии мониторинга транспортировки опасных грузов;
- решение проблем нормативно-правового обеспечения направления ОКБЗ ПНГК (с разработкой технических регламентов, стандартов, сводов правил и правовых документов);

● определение номенклатуры выходной и сопутствующей продукции по направлению ОКБЗ ПНГК;

● проработку вопросов системного кадрового обеспечения направления ОКБЗ.

3. Учитываемые особенности ПНГК и задач ОКБЗ ПНГК

3.1. Особенности ПНГК. Все ПНГК принадлежат к классу СТС. Связанные с этим основные учитываемые их особенности, важные для решения задач ОКБЗ, таковы:

- значительное территориальное распределение каждого ПНГК и их группировок (например, в составе нефтегазоносной провинции, Арктической зоны РФ и др.);
- многокомпонентность ПНГК;
- выраженная индивидуальность каждого конкретного ПНГК, в том числе по составу объектов обустройства, протекающим в них рабочим процессам, локальным и глобальными технологиями эксплуатации, состояниям объектов обустройства и ПНГК в целом и т.д.;
- нелинейный характер рабочих процессов, протекающих в объектах обустройства и ПНГК в целом (процедуры линеаризации исключают даже саму постановку задач ОКБЗ, лишая их физического смысла);
- взаимодействие объектов обустройства ПНГК между собой, а ПНГК – с недрами его дислокации и смежными промыслами;
- выраженный характер качества целостности ПНГК (свойство эмерджентности)⁴. Эта особенность проявляется в том, что свойства ПНГК, как СТС, принципиально не могут быть сведены к простой сумме свойств составляющих их частей;
- наличие в ПНГК и объектах их обустройства, как и в других СТС, дополнительно к штатному управлению так называемых скрытых (неизвестных, не наблюдаемых или не измеряемых) воздействий на режимы их работы. Это приводит к тому, что установившиеся режимы работы ПНГК в действительности являются только «условно установившимися» (отсюда и известная неполная воспроизводимость результатов испытаний);
- существование в ПНГК, как и в других СТС, скрытых конкурирующих, в том числе критических (опасных) режимов функционирования и «права» их выбора;

⁴ Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – Таганрог: ТРТУ; М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.



- предрасположенность ПНГК, как и других СТС, к техногенным катастрофам;
- самоорганизованный (не спровоцированный) характер процессов структурной деградации, протекающих в ПНГК, как и в других сложных диссипативных системах. В этом смысле принципиальным моментом является подтверждение существования для широкого класса СТС эффекта структурного самораспада с возможным развитием в них техногенных катастроф практически любого масштаба⁵ [5–7].

То, что ПНГК являются целостными системами, играет особую роль для решения задач ОКБЗ. Дело в том, что только учет этого качества обеспечивает возможность получения информации о комплексной безопасности ПНГК, их приближении к критическому состоянию и развитии техногенных катастроф. Из этого следует бесперспективность формирования СКБЗ ПНГК на основе редуционистского подхода (сведения сложного к простому), используя традиционные методы и технические средства диагностирования и аварийной защиты, ориентированные на обеспечение безопасности исключительно локальных единиц оборудования СТС, но не решающих проблемы ОКБЗ СТС в целом. Из множества предпринимавшихся такого рода безуспешных и очень затратных попыток наиболее масштабной можно назвать разработку системы безопасности кораблей ВМС США фирмой Mac Sea [8].

3.2. Особенности постановки задач ОКБЗ ПНГК.

Принципиальная возможность решения проблем ОКБЗ СТС была подготовлена, с одной стороны, осознанием механизмов развития катастроф синергетикой, теорией катастроф и ее многочисленных приложений, а с другой – сформированным профильным научно-экспериментальным заделом именно в отношении ПНГК. Результатом их «совмещения» стала обязательность учета ряда особенностей, порождаемых спецификой самих задач ОКБЗ:

- развитие техногенных катастроф происходит в соответствии с системными законами СТС (в отличие от локальных аварий). Эти законы включают дополнительные динамические компоненты, которые

наблюдаются исключительно на переходных режимах работы СТС и «исчезают» на режимах установившихся⁶. Отсюда следует чрезвычайно важное для решения задач ОКБЗ заключение: установившиеся режимы СТС неинформативны в отношении катастроф. Исходные данные для формирования симптоматики развития катастроф могут быть получены только на переходных режимах. В этом феномене проявляется латентный (скрытый) характер всех системных законов и связанных с ними неожиданных труднообъяснимых, на первый взгляд, физических явлений, в том числе техногенных катастроф;

- малая эффективность существующих или проектируемых систем мониторинга СТС (в том числе ПНГК), декларирующих работоспособность в отношении обеспечения их комплексной безопасности на основе алгоритмов прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Связано это с ограничениями принципиального характера – неприемлемо длительным набором исходных прогнозных данных (развитие катастроф происходит в области низких и даже инфранизких частот), а также с доказательно малым горизонтом таких прогнозов [9–11];

- отсутствие единой точки зрения на существование предыстории и скорость развития катастроф, отражающие факт отсутствия симптоматики, обеспечивающей их раннее обнаружение;

- практически полная неопределенность в отношении методов, алгоритмов и технических средств обеспечения защищенности ПНГК в плане ОКБЗ;

- ПНГК с позиций целевой задачи является иерархически организованной многоуровневой структурой с разномасштабными уровнями безопасности, например агрегатным, цеховым, промышленным и межпромышленным (число уровней определяется заказчиком на стадии разработки ТЗ на выполнение работ по ОКБЗ);

- задача ОКБЗ ПНГК в целом допускает адекватную декомпозицию: в каждом уровне безопасности ПНГК определяется свое понятие сложной системы, составляющих ее компонентов, системы измерения параметров и т. п. и решается задача ОКБЗ именно этого уровня;

- открытость СТС каждого уровня безопасности ПНГК, обусловленная явными и скрытыми взаимодействиями с другими уровнями и/или с внешней средой;

- возможность независимого решения задач ОКБЗ каждого конкретного уровня. Получаемые выходные результаты, информативно дополняя друг друга, дают решение общей задачи ОКБЗ ПНГК в целом с ранним обнаружением, дислокацией и детализацией обнаруженных эксцессов в соответствии с оговоренным ТЗ числом уровней безопасности ПНГК;

- сформированный научно-экспериментальный базовый задел по безопасности и защищенности ПНГК в сочетании с достигнутым уровнем автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и информационно-управляющих систем (ИУС) объектов обустройства и ПНГК допускают решение задач ОКБЗ и создание автоматизированной СКБЗ ПНГК практически без изменения существующей материальной базы.

Примечание. Востребованная необходимость решения задач ОКБЗ для нескольких уровней безопасности ПНГК вовсе не приводит, как можно ожидать, к их радикальному усложнению. Это связано с «работой» синергетического принципа утраты сложности. В соответствии с ним в задаче ОКБЗ конкретного уровня ПНГК нет необходимости в учете технического состояния элементов и более низкого, и более высокого уровней, что существенно упрощает ее решение (например, в задаче ОКБЗ промышленного уровня учету подлежат состояния цехов, но не их агрегатов).

4. Сформированные заделы по тематике ОКБЗ ПНГК

Ниже излагаются способы, методы, элементы технологии и созданные программные и технические средства по безопасности, прошедшие научную и экспериментальную отработку в ОАО «НПО Энергомаш имени академика В. П. Глушко» при натурных доводочных испытаниях многих типоразмеров ЖРД и выполнении комплекса конверсионных работ на общетехнических объектах. Завершающая же стадия работ по направлению ОКБЗ ПНГК выполнялась на промыслах

⁵ Бак Л., Чен К. Самоорганизованная критичность // В мире науки. – 1991. – № 3. – С. 16–24.

⁶ Колесников А.А. Синергетическая теория управления.



ООО «Газпром добыча Ямбург» (в основном) и ОАО «Севернефтегазпром». Выше упоминалось о многоуровневом характере задач ОКБЗ ПНГК, возможности их декомпозиции и независимого решения по единому стереотипу. Поэтому в дальнейшем чаще всего будет рассматриваться задача общепромыслового уровня, допускающая адекватный подход к решению задач любого иного уровня.

4.1. Энергетика техногенных катастроф. Природа «скрытых» источников энергии в СТС, разрушающих систему при срабатывании некоего спускового механизма в канун развития катастроф (см. также п. 4.3), чрезвычайно важна не только для понимания физики явления, но и для решения практически каждой из комплекса задач ОКБЗ. Однако в исследованиях данному вопросу уделено явно недостаточное внимание. Информация же общего характера об открытости СТС и притоках разрушающей энергии извне, по мнению авторов, не вскрывает полноценно «энергетический» механизм развития катастроф и недостаточна для ее конструктивного использования.

Свойство целостности, которым обладают все ПНГК, определяет то, что каждый уровень их безопасности зависит от взаимного расположения и структуры динамического взаимодействия элементов именно этого уровня. На образование и поддержание в процессе эксплуатации ПНГК такого коллективного взаимодействия, естественно, должны выделяться энергетические ресурсы, которые, аккумулируясь таким способом, образуют значительные запасы потенциальной энергии. Понятно при этом, что любые структурные изменения в ПНГК (например, после ремонтов оборудования) могут оказаться теми самыми спусковыми механизмами. Прямая угроза от их срабатывания связана с выходом ПНГК на один из критических режимов с последующим раскрытием структурной (!) неустойчивости, освобождающей накопленную потенциальную энергию и приводящую к структурному коллапсу. Все сказанное, естественно, касается и всех СТС.

Полный аналог описанного механизма существует в электроэнергетике. Он более

нагляден ввиду измеримости всех основных процессов, свойственных энергосистемам, в том числе и при их развалах. Как известно, электрическая мощность (величина, характеризующая скорость генерации, передачи или потребления электрической энергии в единицу времени) состоит из двух компонент – активной (потребляемой мощности) и реактивной мощности. Физически последняя представляет собой обменную (непотребляемую) мощность, которая и обуславливает динамическое взаимодействие элементов энергосистемы – территориально распределенных системно связанных электрогенерирующих и электропотребляющих производств. При этом в энергосистемах реактивная мощность (потенциальная энергия) составляет 12–50 % от величины полной генерируемой мощности. Так как механизм аккумуляции этой энергии напрямую связан со свойством целостности энергосистем, то при структурных нарушениях в них становятся возможными эксцессы, в том числе и мегауровня, которые, к сожалению, стали нормой в мировой электроэнергетике.

Следует сказать, что в отличие от других отраслей в электроэнергетике уже давно осознаны вынужденный характер генерирования реактивных мощностей и их негативная роль. Достаточно сказать об огромных материальных потерях, связанных с тем, что все комплектующие электросетей вынужденно рассчитываются на соответствие полной мощности, включающей и неработающую реактивную компоненту. Для устранения перегрузок, повышения экономической эффективности и безопасности энергосистем выставляются требования по компенсации реактивных компонент нагрузок потребителей. Однако этих важных, но пассивных разовых мероприятий, как показала практика, недостаточно для решения глобальных проблем ОКБЗ электросетей и объектов их обустройства. Выход из положения – внедрение автоматизированных систем – аналогов СКБЗ ПНГК.

В дополнение укажем на полную адекватность описанных деструктивных явлений в электроэнергетике и такого же рода потенциально возможных ситуаций в ПНГК и других СТС, что следует из давно

доказанных и получивших широкое распространение на практике электромеханических аналогий⁷.

4.2. Информационное обеспечение задач ОКБЗ ПНГК. Представленные в п. 3 особенности ПНГК и задач ОКБЗ диктуют соответствующий подход к технологии и техническим средствам информационного обеспечения СКБЗ ПНГК.

4.2.1. Обеспечение воспроизводимости результатов натурных испытаний. Математических моделей, в требуемой для решения задач ОКБЗ степени адекватных реальным ПНГК и объектам их обустройства, не существует. Поэтому на первый план выходит использование результатов экспериментов при условии обеспечения их воспроизводимости. Установлено, что нарушение последнего условия связано не с малой точностью существующих средств измерения параметров ПНГК, а главным образом с применением стандартных процедур временного осреднения и с обычной привязкой результатов испытаний к времени или частотному параметру. Обе эти процедуры некорректны в задачах ОКБЗ из-за работы в низкочастотном или даже инфранизкочастотном диапазоне. Выход из положения был найден на основе принципа подчинения синергетики⁸ [4]. В соответствии с ним результаты испытаний ПНГК формировались и использовались в формах зависимости от ранжированных по значимости текущих значений параметров порядка ПНГК. Последние более строго определяют понятия «режимный параметр» и «параметр управления ПНГК» (как локальных, так и глобальных). Рациональность такого подхода объясняется еще и тем, что динамика сложных многомерных СТС на самом деле определяется небольшим числом именно параметров порядка, демонстрируя их простое поведение при огромном сжатии без потерь получаемой выходной информации.

Примечание. В общем случае параметры порядка не обязательно напрямую измеряются датчиками. Часто это некоторые физически осмысленные комбинации нескольких таких измерений. В целом состав управляющих параметров и параметров порядка должен быть минимизирован ввиду

⁷ Львович А.Ю. Электромеханические системы. – Л.: ЛГУ, 1989. – 355 с.

⁸ Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 405 с.



обычной для реальных СТС их взаимной зависимости [12].

На рис. 1 показан пример получения приемлемой для решения задач ОКБЗ воспроизводимости характеристики $H(g)$ «вход – выход» цеха подготовки газа ПНГК при 9-кратном повторении испытаний по одной и той же программе после перехода от временной или частотной форм к зависимости от относительной величины суммарного расхода газа g .

На практике затруднения при использовании описанного способа связаны с формированием групп, ранжированных по значимости параметров порядка, преодолимые при проведении целевых натуральных испытаний (см. далее).

4.2.2. Формирование доказательно информативных конфигураций систем измерения параметров ПНГК. При проектировании АСУТП объекта учитывают локальную автоматику отдельных узлов, агрегатов и оборудования, включенную в их состав заводом-изготовителем, которую дополняют системами сбора установленной номенклатуры информативных параметров. Их объем минимально необходим для ведения технологического процесса по заданному алгоритму. Естественно, они не в состоянии фиксировать возникающие в ПНГК и объектах их обустройства волновые процессы со свойственным им интерференционным взаимодействием, важные для задач ОКБЗ. Для выявления таких случаев обычно привлекались диагностические лаборатории и соответствующий инструментарий – портативные измерительные устройства. Такой же подход, но при условии выполнения отмеченных выше требований системной увязки с СКБЗ, работы в расширенном частотном диапазоне измерений, групповой синхронизации измерений, передачи по каналам телеметрии и централизации информационных потоков можно использовать и при решении задач ОКБЗ ПНГК. Они же обеспечат требуемый охват неподконтрольных объектов обустройства ПНГК.

Примечания. 1. Одним из способов решения проблемы обеспечения информативности ПНГК, учитывающим изложенные выше условия, может быть создание сопровождающего СКБЗ системно увязанного с нею приборного ряда (исполнение портативное) [1], ориентированного глав-

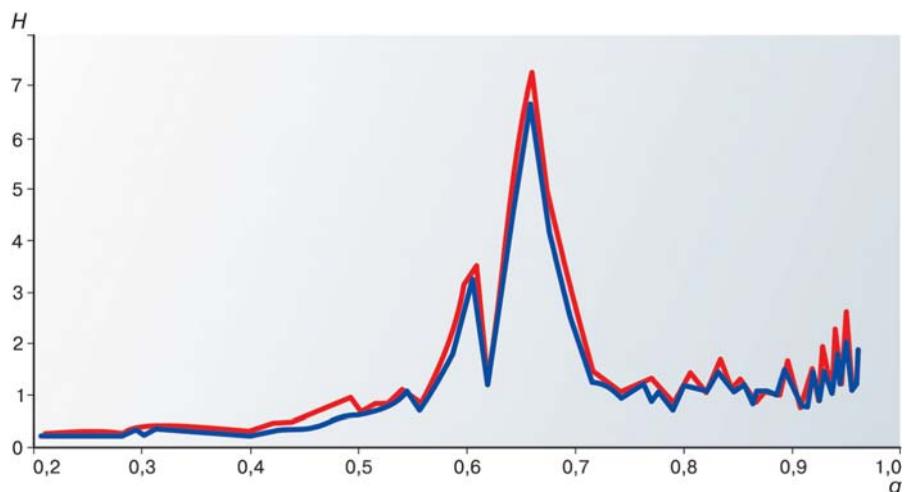


Рис. 1. Характеристика «вход-выход» цеха подготовки газа (для измеряемых продольных по потоку газа перемещений входной и выходной обвязок цеха)

ным образом на обеспечение требуемого системного охвата неподконтрольных объектов обустройства ПНГК (соответствующее решение может быть принято на стадии разработки ТЗ на СКБЗ).

2. При решении задач ОКБЗ целесообразно использовать избыточные системы измерения параметров, и не только из соображений достоверности исходных данных, но и для формирования групп параметров порядка в каждом уровне безопасности ПНГК с последующей привязкой к ним экспериментально получаемых выходных данных.

4.2.3. С точки зрения возможного развития катастроф опасными для СТС, в том числе ПНГК, являются нежелательные, неизвестные, незапланированные и даже штатные переходные режимы их работы. При этом носителями информации о катастрофах являются характеристики взаимодействия объектов обустройства ПНГК, определение которых возможно исключительно на этих переходных режимах при выполнении двух обязательных условий – высокоточной групповой синхронизации всех ориентированных на решение задач ОКБЗ территориально распределенных измерений параметров ПНГК и их централизации. Оба условия были практически реализованы в созданном сертифицированном прототипе СКБЗ (см. п. 4.7). Эти же условия выполнял космическая подсистема СКБЗ ПНГК.

Примечание. ПАО «Газпром» располагает опытом использования спутниковых систем глобального позиционирования

NavStar (США) и ГЛОНАСС для целей синхронизации территориально распределенных измерений, например по геодезическим полигонам и гравиметрическому контролю разработки залежи. Тем не менее в настоящее время все серверы и рабочие станции на месторождениях синхронизируются исключительно по центральному серверу времени ПАО «Газпром».

4.3. Сценарии развития катастроф. Структурное усложнение технической системы, как известно, сопровождается непропорциональным ростом в ее пространстве мегауровня числа потенциально опасных критических режимов (точек бифуркации). В них и реализуется структурная неустойчивость, приводящая к качественной перестройке поведения СТС. При этом положительные обратные связи начинают преобладать над отрицательными – система автоматического управления СТС перестает справляться с функциями стабилизации рабочего процесса. На число, дислокацию и миграцию точек бифуркации влияют многие факторы: исходные проектные решения по системе, ее естественный износ, переключки режимов, ремонты оборудования и т. п. При этом до настоящего времени в мировой практике практически не предложено ни методических, ни технических средств их определения. Говоря образно, «нормальная» эксплуатация СТС, базируясь во многом на интуиции, личном опыте и знаниях оператора, оказывается адекватной перемещению (прежде всего на переходных режимах) по минному полю

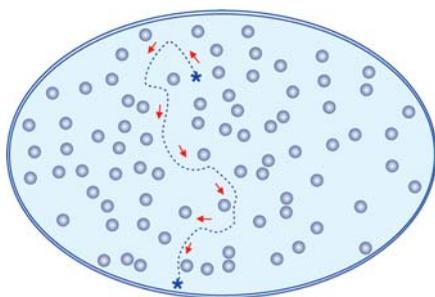


Рис. 2. Схемное изображение пространства мегауровня СТС с критическими точками и переходом с одного режима работы СТС на другой

в отсутствие какой-либо информации о дислокациях мин (рис. 2).

Однако с точки зрения решения задач ОКБЗ ПНГК знание всей топологии пространства мегауровня на самом деле избыточно. Достаточно располагать прямой или опосредованной информацией о взаимном расположении и скорости сближения рабочей точки (текущего режима работы промысла) и ближайшей к ней критической точки. И эта задача в рамках сформированного задела может быть решена.

Существует всего два типа отношений ПНГК с потенциальной для него опасностью (рис. 3): 1 – когда критическая точка вследствие естественного износа оборудования ПНГК приближается к фиксированной рабочей точке промысла, работающего на установившемся режиме, 2 – когда рабочая точка сама приближается к кри-

тической точке при переключках режимов. По обоим типам катастрофы развиваются относительно медленно, но наиболее опасен все же первый тип из-за утраты информативности на установившихся режимах (см. п. 4.2).

Примечания. 1. В принципе, возможен и третий тип – встречного сближения точек. Однако в связи с тем, что скорость рабочей точки на переходных режимах НПГК, как правило, существенно больше скорости любой критической точки, данный случай фактически адекватен второму из представленных типов.

2. Технологически сближение указанных точек может быть и преднамеренным – в целях решения задач оптимизации рабочих процессов и снижения издержек производства. В этих случаях СКБЗ совместно с АСУТП или ИУС должны гарантированно исключать риск выхода СТС на критический режим.

По опыту выполнения целевых НИОКР выходы ПНГК на критические режимы в реальных условиях их эксплуатации – событие нередкое, но чаще всего они лишь потенциально опасны и не приводят к каким-либо последствиям. На рис. 4 представлены воспроизводившиеся при многократно повторявшихся натурных испытаниях газоизмерительной станции такого рода эксцессы на режимах медленного форсирования с «самостоятельным» выбором системой направления выхода из точки бифуркации.

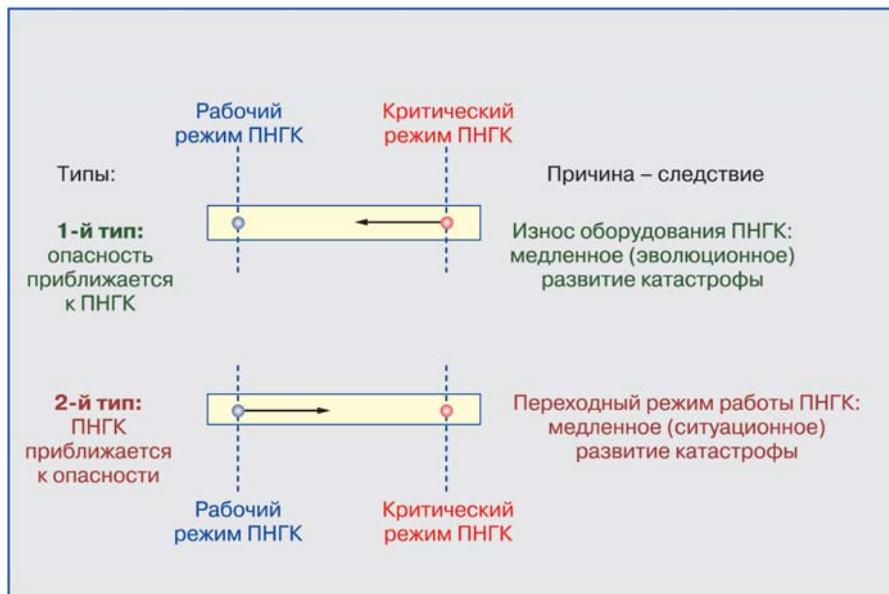


Рис. 3. Две формы отношений ПНГК с опасностью

Комментарии

Научно и экспериментально обоснованная Концепция создания нового поколения систем безопасности ориентирована на защиту промыслов нефтегазового комплекса РФ от наиболее затратных по последствиям техногенных катастроф. Ее разработка стала возможной как результат целевых НИОКР, проведенных в Российском космическом агентстве, и прежде всего на промыслах ПАО «Газпром» и ОАО «Севернефтегазпром». Концепция имеет выраженный инновационный характер, впервые в деталях отслеживая на прикладном уровне сквозную технологическую цепочку безопасности промыслов, начиная с выбора доказательно информативных систем измерения параметров и заканчивая симптоматикой раннего обнаружения развития катастроф и алгоритмами их парирования.

Учитывая межведомственный характер Концепции, проявившийся уже на стадии ее разработки, факты отсутствия на данный момент каких-либо альтернативных Концепции разработок, ее обсуждения на многих профессиональных НТС, включая РАН, создание по заказу ООО «Газпром добыча Ямбург» сертифицированного на взрывобезопасность прямого прототипа системы комплексной безопасности и защищенности промыслов, а также подтвержденную патентами приоритетность сформированного интеллектуального задела по направлению Концепции, полагал бы целесообразным:

1) принятие Концепции в качестве базовой для незамедлительного развертывания работ по стратегически важному для РФ направлению создания нового поколения систем безопасности и защищенности от катастроф техноинфраструктуры страны;

2) корпоративное объединение на основе размежевания по интересам и возможностям ведомств, заинтересованных в создании нового поколения систем безопасности и защищенности, с образованием координирующего Центра с паритетным представительством каждого из участников Корпорации;

3) совместное инициирование процедур получения статуса федеральной целевой программы для Проекта создания нового поколения систем безопасности и защищенности;

4) проведение работ по Проекту по схеме государственно-частного партнерства с приоритетом у государства.

А.С. Сигов, президент МГТУ МИРЭА, академик РАН



Инверсный по отношению к приведенному на рис. 4, но уже опасный неспровоцированный выход на критический режим был зафиксирован при натурных испытаниях в цехе подготовки газа в 2006 г. На них параллельно со штатной системой измерения использовались дополняющие их территориально распределенные с групповой высокоточной синхронизацией средства измерения – регистрации вибрационных параметров (всего 96 дополнительных каналов) в низкочастотном и высокочастотном диапазонах (от 0,1 до 10 кГц) с их обработкой в реальном масштабе времени. В ходе проведения по одной и той же программе девятого по порядку испытания (при восьми предыдущих без замечаний) в ходе дросселирования на режимах от 22 до 18% произошло не зафиксированное штатными средствами диагностирования самопроизвольное возбуждение нарастающей динамической активности агрегатов и входной и выходной трубных обвязок цеха подготовки газа, а также смежных цехов. Ситуацию удалось стабилизировать вручную (автоматика для такого рода регулировок в цехе подготовки газа не предусмотрена) по визуализированным данным обработок измеряемых параметров в реальном масштабе времени и своевременной реакции оператора на нарастающий шум и голосовое сообщение по селектору об одновременном развитии ЧС на ДКС. При этом суммарное время ЧС (от момента обнаружения до стабилизации) составило около 90 с, что оказалось вполне достаточным для реализации парирующих мероприятий. После инцидента были проведены анализ ситуации в целом по промыслу, а также детальные обработки и анализ всего множества зарегистрированных параметров и, главное, их взаимосвязей.

Было обнаружено возбуждение вне штатного частотного диапазона опасных автоколебаний нарастающих амплитуды и частоты от долей до 3,5 Гц с длинами волн по рабочему телу примерно 500 м и более. По масштабу это адекватно общепромысловому, а не цеховому механизму их возбуждения. Подтверждением этому является то, что кроме цеха подготовки газа процесс охватывал и две очереди ДКС. В результате был получен значительный объем дополнительных данных, который позволил идентифицировать физический механизм

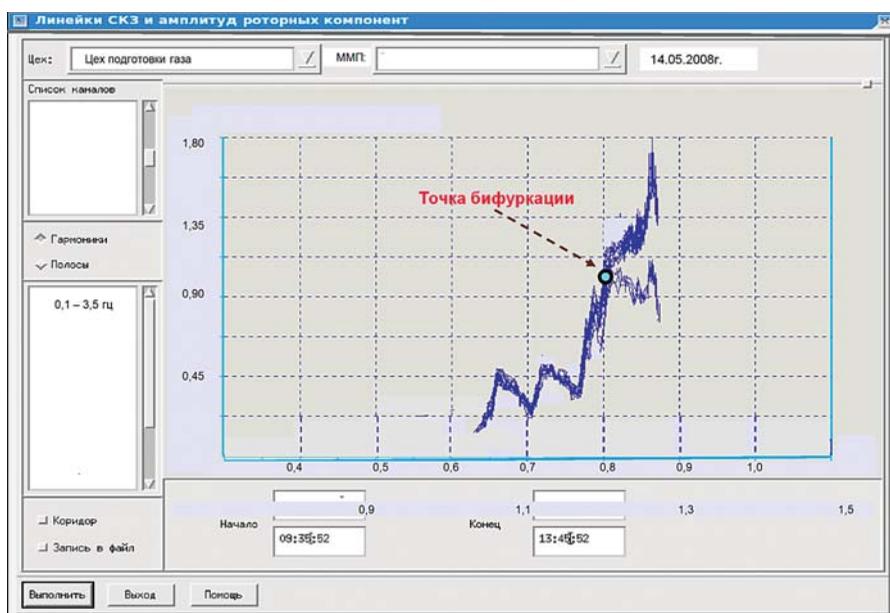


Рис. 4. Характеристика «вход-выход» газоизмерительной станции по ортогональным к потоку газа (вертикальным) перемещениям в инфранизкочастотном диапазоне 0,1–3,0 Гц

активизации динамической активности как эффект приближения промысла к критическому режиму с потенциально возможным развитием катастрофы. Также удалось установить симптоматику и медленный характер ее развития, отработать методику выбора доказательно информативных конфигураций систем измерения параметров ПНГК и т.п. Важно и то, что постфактум удалось экспериментально подтвердить со многими сопутствующими нюансами предвиденное теорией (см., напр., Томсон Дж. Т. «Неустойчивости и катастрофы в науке и технике»; Хакен Г. «Синергетика») существование типового сценария развития

техногенных катастроф. Не менее важным оказался и практически реализованный сценарий парирования их развития.

Процесс активизации динамической активности промысла при его неспровоцированном выходе на критический режим представлен на рис. 5 на примере продольных перемещений входной обвязки цеха подготовки газа на начальном участке возбуждения системных автоколебаний $A(t)$ промысла. На рис. 6 приведен фрагмент, соответствующий уже конечной фазе динамической активности, последовавшей после обратного форсирования режима (вручную) и срыва автоколебаний $A(t)$. Таким образом,

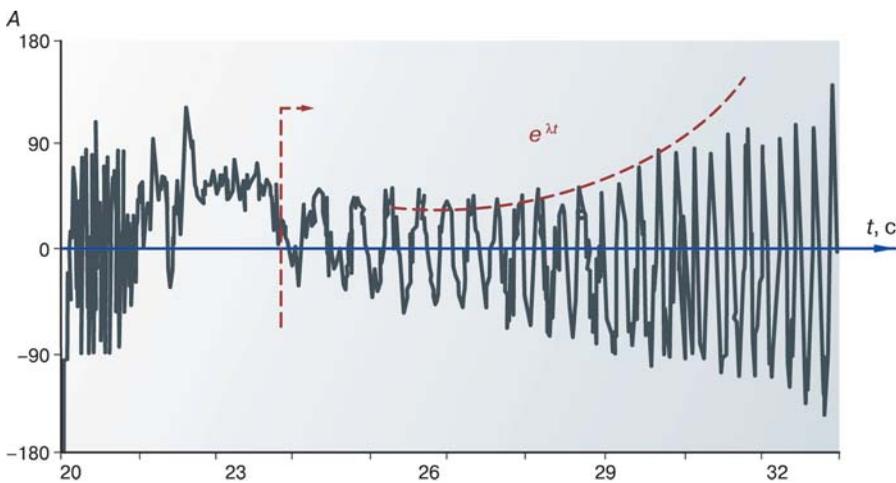


Рис. 5. Начальная фаза возбуждения системных автоколебаний газового промысла на режиме штатного дросселирования. Параметр – продольные (по направлению течения газа) перемещения входной обвязки цеха подготовки газа

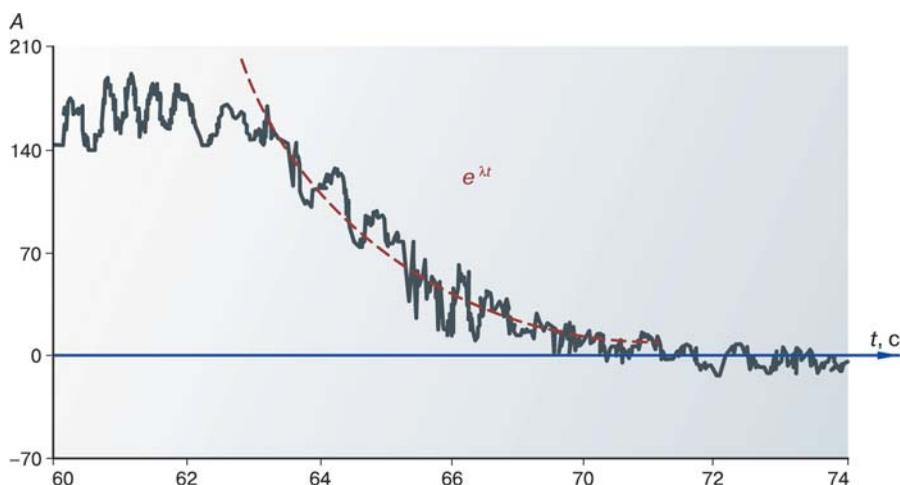


Рис. 6. Конечная фаза возбуждения системных автоколебаний газового промысла – стадия парирования развития катастрофы

на рис. 5, 6 визуализированы процессы развития и парирования потенциальной техногенной катастрофы с оцененными критериями дестабилизации-стабилизации (показателями Ляпунова), соответственно, $\lambda = 0,14$ Гц и $\lambda = -0,38$ Гц.

4.4. Типовой сценарий развития техногенных катастроф. Общность основных закономерностей, определяющих поведение СТС самой разной природы, допускает лишь небольшое число структурных перестроек в СТС, самосогласованных с поведением их элементов. Следствием этого стало ожидание существования «универсального сценария возникновения катастроф» как результата раскрытия структурной неустойчивости⁹ [11–14]. Так, для класса СТС с двумя управляющими параметрами при не более 5 фазовых координатах строго математически было доказано существование всего 7 типов канонических катастроф, однотипных с технической точки зрения. Экспериментальное подтверждение таких ожиданий (существования типового сценария) было получено по данным вышеприведенного разбора, похоже, впервые в деталях зафиксированного реального выхода СТС на критический режим (см. п. 4.3). Понятно, что для разработки СКБЗ ПНГК это имело определяющее значение.

Представим в целом последовательность событий в зафиксированном сценарии развития-парирования ЧС, согласующемся с результатами теории и свойственным всем СТС:

- штатная работа СТС;
- вход в подконтрольную зону опасного состояния СТС (недопустимое сближение рабочей и критической точек СТС);
- начало эволюционного смещения режима ближнего взаимодействия объектов обустройства СТС (соответствует их нормальному взаимодействию) к режиму дальнего взаимодействия (соответствует их нарушенному взаимодействию);
- возбуждение взаимосвязанных беспорядочных (хаотических) колебаний в объектах обустройства СТС;
- завершение перехода СТС к режиму дальнего взаимодействия объектов его обустройства (к так называемому режиму глобального когерентного (синхронного) функционирования СТС);
- активизация парирующих критическую ситуацию мероприятий;
- начальная фаза раскрытия структурной неустойчивости СТС (самопроизвольный переход на нештатный режим работы);
- стадия раскрытия структурной неустойчивости СТС с сопутствующими структурными нарушениями;
- стадия стабилизации работы СТС (реакция на парирующие мероприятия);
- переход к режиму ближнего взаимодействия объектов обустройства СТС;
- возврат на штатный режим функционирования СТС.

Примечание. Понятие «ближнее взаимодействие» компонентов территориально распределенной СТС акцентирует внимание

на том, что в СТС при нормальном их функционировании значимо взаимодействуют только близкорасположенные ее компоненты. Аналогичен смысл понятия «дальнее взаимодействие», реализующегося при нарушениях нормального функционирования СТС.

4.5. Обеспечение защищенности ПНГК от развития техногенных катастроф. По статистике, техногенные катастрофы в СТС происходят существенно реже локальных аварий, но по последствиям оказываются на порядки более затратными. Поэтому в проблеме ОКБЗ приоритетным является решение задач защищенности ПНГК от деструктивных внутренних и внешних возмущающих факторов. При этом в подавляющем числе случаев это по силам только автоматизированным средствам обнаружения и парирования развития катастроф.

В развитии любой катастрофы возможно вычленение трех характерных стадий.

1. Вхождение и пребывание ПНГК в зоне его опасного состояния – недопустимо близкого расположения рабочей точки ПНГК и ближайшей к ней критической точки и/или большой скорости их сближения (см. п. 4.3).

2. Достижение ПНГК критического состояния.

3. Раскрытие структурной неустойчивости ПНГК (развитие катастрофы).

Как отмечалось, на первой стадии состояние ПНГК обычно изменяется эволюционно (см. п. 4.3):

- очень медленно вследствие естественного износа оборудования ПНГК;
- ситуационно медленно в зависимости от скорости переключений режима работы ПНГК.

Исключения из представленного «естественного» сценария развития опасной ситуации возможны, и прежде всего непосредственно после выходов оборудования ПНГК из ремонтов (особенно капитальных), в ходе которых происходят качественные неподконтрольные изменения состава и дислокаций критических точек в пространстве мегауровня промысла. Пример такого сценария – катастрофа на Каширской ГРЭС-4 в 2002 г.: через 10 дней после капитального ремонта на энергоблоке 300 мВт при его запуске произошел ме-

⁹ Мун Ф. Хаотические колебания. – М.: Мир, 1990. – 311 с.



ханический взрыв с полным уничтожением машинного зала.

На третьей стадии развития катастрофы ее скорость зависит от собственных характеристик ПНГК и может происходить по сценариям жесткого (быстрого) и относительно медленного ее развития в зависимости от значения максимального из положительных показателей Ляпунова ПНГК (см. п. 4.3).

Основное внимание в процедурах, реализующих защищенность ПНГК, естественно, должно быть уделено предшествующей развитию катастрофы стадии опасного состояния ПНГК. Опасная зона выбирается из соображений достаточности времени пребывания в ней, чтобы средствами САУ по данным от СКБЗ успеть вывести ПНГК из нее, не доводя его до критического состояния, и тем самым парировать развитие катастрофы. Реализовать выход из опасной зоны (так называемый процесс направленной самоорганизации системы) возможно одним из двух основных способов – без обратной связи и с обратной связью. В создаваемой СКБЗ был принят функционально рациональный, более надежный (подконтрольный) и наименее затратный второй способ. Он базируется на целевом координированном управлении промыслом [12] по цепям обратной связи от СКБЗ. Собственно, именно таким способом-аналогом и было парировано развитие реальной критической ситуации, описанной в п. 4.3.

4.6. Симптоматика развивающихся катастроф. В последние 25 лет для СТС, допускающих математическое моделирование, средствами теории были предложены многие прогностические и динамические (в терминологии: *Мун Ф.* «Хаотические колебания») предвестники катастроф. Некоторые из таких симптомов (см., напр.¹⁰, [1, 4, 15, 16]):

- характеристики притока энергии в СТС извне, которая при потере системой структурной устойчивости может ее разрушить;
- характеристики роста со временем отклонений СТС от ее равновесного состояния;
- критерий начальной фазы усиления взаимодействия компонентов СТС;

● характеристики координированного взаимодействия компонентов и подсистем СТС и проявления признаков их коллективного поведения;

● критерии перехода на режим дальнего взаимодействия компонентов СТС (предельное состояние – когерентное поведение системы в целом);

● показатели возбуждения в СТС кратковременных переходных (перемежающихся) хаотических колебаний и «установившихся» хаотических колебаний (так называемый режим потери информации или предсказуемости поведения СТС [*Мун Ф.*]) в канун катастроф;

● проявление фрактальной размерности, сопутствующей переходу СТС на режим странного аттрактора в канун катастрофы. Данный признак возникновения и степени развитости хаотических колебаний с технической точки зрения пока является экзотическим – практически не реализуемым;

● промежуточное накануне катастрофы с мягкой потерей структурной устойчивости удвоение периода низкочастотных колебаний СТС (эффект *М. Фейгенбаума* бифуркации удвоения периода);

● характеризующий скорость стабилизации или дестабилизации рабочих режимов СТС (в другой трактовке – меру хаотических колебаний) показатель Ляпунова (см. детальный обзор по его применению: *Wolf A.* Determining Lyapunov exponents from a time series).

Общими для всех перечисленных и других известных симптомов развития катастроф являются их модельный характер, необходимость экспериментальной отработки и обеспечения их измеримости, но главное – жесткой селекции с точки зрения прикладной значимости для ПНГК, что и выполнялось при проведении целевых НИОКР в обеспечение разработки Концепции. Одновременно была сформирована группа новых реагирующих на развитие катастрофы (математически – на сопутствующее ей сужение бассейна аттрактора) симптомов [1, 15, 17], практических способов их формирования и непрерывного мониторинга, в том числе:

● критерий гидратообразования в шлейфах газовых промыслов;

Комментарии

Концепция представляет инновационный подход к обеспечению безопасности критически важных объектов, защите их от наиболее затратных по последствиям техногенных катастроф. В его основе – раннее обнаружение нетипичных отклонений (формирование симптоматики раннего развития катастроф), которые не фиксируются существующими штатными средствами диагностирования, принятие превентивных мер по реагированию для парирования угрозы. Таким образом, посредством автоматики система решает задачи по обеспечению не только локальной, но и системной (комплексной) безопасности.

Особую ценность представляет прикладной характер Концепции, т. е. сама технология и ее программно-аппаратная реализация. Вопросы, связанные с набором измеряемых параметров; местом проведения измерений; выбором режимов работы оборудования, с которыми следует работать; корректным формированием информационных потоков от территориально распределенных объектов промысла и их обработкой; контролем исполнения решений; отчетности и т. д. апробируются на промыслах ПАО «Газпром» и ОАО «Севернефтегазпром».

*А.В. Скворцов, директор по развитию
ООО ПСЦ «Электроника»*

● наиболее информативный из всего спектрального состава показатель Ляпунова в отношении дестабилизации работы ПНГК (функция – раннее обнаружение развития катастрофы);

● наиболее информативный из всего спектрального состава показатель Ляпунова в отношении стабилизации работы ПНГК (функция – парирование развития катастрофы);

● характеристики топологической структуры окрестности рабочего режима ПНГК, информативных в отношении направлений приближения опасности и ухода от нее (функции раннего обнаружения развития катастрофы и ее парирования);

● критерии начала перехода режима ближнего взаимодействия объектов обустройства ПНГК к дальнему взаимодействию и когерентному поведению ПНГК в канун катастрофы (подконтрольным является

¹⁰ Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 360 с. – Т. 2. – 285 с.; Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Знание, 1981. – 63 с.



радиус пространственной корреляции параметров ПНГК);

- критерий возбуждения хаотических колебаний в ПНГК в канун утраты им структурной устойчивости – развития катастрофы. Критерий был отработан при доводочных испытаниях ЖРД [15] и «сработал» при разборе ЧС (предкатастрофической ситуации) на ПНГК (см. п. 4.3).

Примечание. При создании СКБЗ ПНГК должен быть предусмотрен этап окончательной доводки технологии ОКБЗ, формирования симптоматики, определения соответствующих уставок и допусков, правил принятия решений о парировании катастроф.

4.7. Качество объектной ориентируемости СКБЗ ПНГК. Из вышеизложенного ясно, что решение проблем ОКБЗ ПНГК стало принципиально возможным в рамках системной синергетической концепции самоорганизации. Как известно, обязательным для нее является учет физического содержания рассматриваемых явлений и рабочих процессов, протекающих в конкретных СТС. Поэтому при проектировании СКБЗ стал неизбежным отказ от общепринятого принципа универсализма и переход к альтернативному принципу объектной ориентируемости СКБЗ ПНГК¹¹ [17]. Он требует жесткой привязки системы к «своему» ПНГК. При этом в СКБЗ учитываются его конструктивные особенности, конфигурация штатной системы измерения, технология эксплуатации, динамические характеристики, используемые методы управления и реализующие их программно-аппаратные средства и т.д. Введение этого нового важного потребительского качества существенно повышает эффективность СКБЗ, но одновременно приводит к ее сильной индивидуализации, а значит, и к возможной нерентабельности из-за разового характера производства таких систем. В связи с этим были экспериментально отработаны технология и реализующий ее инструментарий в составе СКБЗ, допускающие ее глубокую начальную адаптацию к «своему» ПНГК без утраты серийной пригодности создаваемой выходной продукции.

Примечание. В принципе, современные промышленные компьютеры, входящие в состав АСУТП и ИУС, и другие их комплекующие допускают решение задачи адаптации СКБЗ, но при условии ввода соответствующих алгоритмов, уставок и исходных экспериментальных данных от СКБЗ. Вопрос о целесообразности выбора того или иного варианта может быть решен на этапе эскизного проектирования СКБЗ.

По результатам проведенных НИОКР стала понятной не только необходимость адаптации СКБЗ к «своему» ПНГК при ее вводе в штатную эксплуатацию, но и обязательность ее актуализации в соответствии со специально разрабатываемыми для этого регламентами. При этом в особой степени актуализация показана после каждого акта проведения ремонтных работ (в первую очередь капитальных), так как эти работы могут привести к опасному и неподконтрольному изменению дислокации критических режимов ПНГК (см. п. 4.3).

Примечания. 1. В ходе экспериментальной проработки процедур глубокой адаптации СКБЗ к «своему» ПНГК была выявлена информативность получаемых выходных данных для паспортизации ПНГК по критериям его комплексной безопасности-защищенности. Соответствующая технология отработывалась при проведении НИОКР, но нуждается в ее окончательной доводке.

2. Показательно, что в последние годы подход-аналог, описанный в данном разделе, получил распространение в теории и практике автоматического управления СТС¹² [4].

4.8. Наземная подсистема СКБЗ ПНГК. Выше были представлены концепция, идеология и сценарий разработки НП СКБЗ ПНГК как результат выполненных на промыслах ООО «Газпром добыча Ямбург» и ОАО «Севернефтегазпром» целевых НИОКР. Ее укрупненная структурная схема включает пять основных компонент:

- блок стационарных устройств связи с объектами (УСО) обустройства ПНГК;

- сопровождающий СКБЗ ПНГК системно увязанный с нею портативный приборный ряд (ППР);

- блок групповой синхронизации измерений (ГСИ) территориально распределенных параметров ПНГК, задействованных в СКБЗ;

- блок обратной связи «СКБЗ АСУТП ПНГК» (ОСА);

- оперативный информационно-управляющий центр (ОИУЦ).

Примечание. Представленная структура СКБЗ только по внешним признакам напоминает соответствующую схему существующих АСУТП и ИУС, да и многих других систем, в частности диагностических. Отличия, по существу, кроются в принципиально иной схеме системной организации СКБЗ, ее алгоритмическом и программном обеспечении, не говоря уже об интеллектуальной компоненте и особенно определяющей все структурные особенности технологии ОКБЗ.

Блок территориально распределяемых стационарных УСО представляет собой простые устройства измерения, оцифровки и передачи по каналам телеметрии в ОИУЦ параметров ПНГК, задействованных в СКБЗ. При этом нет необходимости в предварительной обработке результатов измерения на местах.

Блок территориально распределяемых ППР является близким аналогом блока УСО, но в портативном исполнении и с соответствующей практически доведенной до кондиции технологией. Его назначение – измерение, оцифровка и передача по каналам телеметрии в ОИУЦ параметров в основном неподконтрольных объектов обустройства ПНГК также без их предварительной обработки.

Блок ОСА реализует системную взаимосвязь ОИУЦ с АСУТП ПНГК по телеметрическим каналам обратной связи СКБЗ. Его назначение – обеспечение защищенности ПНГК (реализации принятых в СКБЗ решений о парировании развития катастроф средствами координированного управления ПНГК).

Блок ГСИ с использованием космических навигационных систем ГЛОНАСС/GPS

¹¹ Дедученко Ф.М., Кульчицкий А.Б., Арабский А.К. Объектно-ориентируемые методы и средства обеспечения безопасной эксплуатации территориально распределенных динамически взаимодействующих объектов нефтегазовых промыслов // Тр. XIX Междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – 2011; Арабский А.К., Дедученко Ф.М. Проблемы обеспечения комплексной техногенной безопасности // Базовые принципы и требования формирования устойчивой энергетики (практич. энергетич. пособ.). – М.: Энергетика и гражданское общество, 2014.

¹² Колесников А.А. Указ. соч.



осуществляет групповую синхронизацию всех централизованных в ОИУЦ потоков измерительной информации, поступающих от блоков территориально распределенных УСО и ППР по каналам спутниковой радиосвязи.

Ядром СКБЗ является ОИУЦ, в котором сосредоточены все базовые вычислительные мощности СКБЗ. Его основное назначение:

- прием и целевая обработка в реальном масштабе времени централизованных потоков измерительной информации от территориально распределенных блоков УСО (в непрерывном режиме) и блоков ППР (в непрерывном или разовом («запросном») режиме в соответствии с ТЗ);
- формирование симптоматики раннего обнаружения развития катастроф;
- непрерывное сканирование окрестности рабочей точки ПНГК в пространстве мегауровня с определением направлений и скоростей приближающейся опасности и возможного удаления от нее;
- раннее обнаружение развития катастрофы и принятие решений о ее парировании;
- реализация функций защищенности ПНГК по телеметрическим каналам обратной связи на АСУТП средствами целевого координированного управления ПНГК;
- реализация двустороннего взаимодействия с ОИУЦ СКБЗ других промыслов.

Кроме перечисленных функций ОИУЦ ориентирован на решение ряда сопутствующих ОКБЗ задач. В их числе:

- выполнение функций начальной и актуализируемой по регламенту жесткой адаптации СКБЗ к «своему» конкретному ПНГК (обеспечение качества объектной ориентируемости системы);
- осуществление совместно с ППР начальной и актуализируемой по регламенту паспортизации ПНГК по критериям его комплексной безопасности и защищенности;
- регистрация предыстории развития катастроф (да и любого эксцесса на ПНГК) практически неограниченной длительности (режим «черного ящика»).

Необходимо отметить также ряд факторов, согласованных с принятой структурной схемой СКБЗ, упрощающих реализацию адекватной Концепции программы создания единой системы комплексной техногенной безопасности и защищенности промыслов нефтегазового комплекса РФ:



Рис. 7. Основные модульные блоки прототипа СКБЗ ПНГК в цехе подготовки газа УКПГ

- существующие АСУТП или ИУС допускают системную увязку с СКБЗ ПНГК;
- вся периферия СКБЗ (УСО и ППР) представляет собой простейшие недорогие блоки измерения и передачи информации в ОИУЦ без интеллектуально перегруженных дорогих устройств ее обработки;
- все вычислительные мощности СКБЗ централизованы и сосредоточены в ОИУЦ;
- исполнительные устройства, реализующие обратные связи от СКБЗ на ПНГК для парирования развития катастроф, уже включены в АСУТП промыслов.

В контексте раздела отметим создание сертифицированного на взрывобезопасность (Сертификат соответствия – РОСС RU.ГБ04. В01452) территориально распределяемого объектно-ориентируемого прототипа НП СКБЗ ПНГК (рис. 7). Причины и сценарий его создания изложены в [1]. Его представление в экспозиционной части VIII Международного салона «Комплексная безопасность 2015» и одновременно на XX Международной научно-практической конференции «Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий» было отражено в итоговых решениях Салона. Кроме того, в ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России разработан проект 64-канального территориально распределяемого базового испытательного

комплекса безопасности и защищенности быстрого развертывания, ориентированного на выполнение всех видов НИОКР по направлению ОКБЗ.

4.9. Космическая подсистема СКБЗ ПНГК. Эксплуатация географически распределенных объектов ПНГК на большой территории Арктической зоны РФ предъявляет по ряду параметров повышенные требования к качеству измерительной информации. От ее достоверности, сохранности, конфиденциальности и оперативности обработки в ОИУЦ в реальном масштабе времени непосредственно зависит выработка в СКБЗ правильных и своевременных управленческих решений по ОКБЗ ПНГК. Поэтому в состав СКБЗ должна входить и космическая подсистема, позволяющая организовать и поддерживать глобальный и непрерывный мониторинг ПНГК. Только с ее помощью средствами получения и передачи в реальном масштабе времени необходимой информации возможно решение всего комплекса основных и вспомогательных задач ОКБЗ, в том числе:

- высокоточной групповой синхронизации и централизации измерений в контрольных точках, распределенных по большой территории;
- раннего обнаружения и парирования развития техногенных катастроф;



- обеспечения нормального функционирования геодезического полигона ПНГК;
- контроля за разработкой месторождений с использованием прецизионного гравиметрического мониторинга;
- обеспечения безопасности периметров и границ ПНГК;
- обеспечения непрерывного мониторинга перевозок опасных грузов в пределах промзон ПНГК;
- обеспечения мониторинга объектов природной среды, находящихся в зоне экологической ответственности ПНГК.

Примечание. Развернутая постановка задач обеспечения функционирования геодезического полигона и частично гравиметрического мониторинга представлена в работе *Затырко В.А., Денисевич Е.В., Кожина Л.Ю. и др.*¹³.

4.10. Нормативно-правовое обеспечение направления ОКБЗ ПНГК. Одна из проблем ОКБЗ связана с потенциальной опасностью процессов просадки грунтов на территориях месторождений при добыче углеводородов. Она потребовала создания системы маркшейдерско-геодезического мониторинга геомеханических, геодезических и геокриологических процессов. Базой ее создания стал соответствующий Закон РФ¹⁴. Эта система (подсистема СКБЗ) ориентирована на контроль состояния горных отводов, определение опасных зон и мер по охране горных разработок, зданий, сооружений и природных объектов. Все эти процедуры регламентированы РД-07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ». Примеры реализации такой системы – Заполярное и Ямбургское НГКМ. На Заполярном НГКМ в дополнение к стандартным геофизическим методам была внедрена система мониторинга подъема ГВК с использованием прецизионных измерений и анализа вариаций гравитационного поля по территории месторождения. Для ведения этого мониторинга был разработан соответствующий стандарт организации¹⁵. В настоящее время разрабатывается соответствующий СТО Газпром, а в перспективе и национальный стандарт.

По факту указанные системы являются подсистемами ОКБЗ ПНГК. Следовательно, создание СКБЗ однозначно потребует разработки соответствующей нормативной правовой базы. Очевидно, что прежде всего необходимо определиться с терминологией. Общее понятие «Катастрофа», представленное в стандартах (ГОСТ Р 22.0.05–94, ГОСТ 22.0.05–97), базируясь на констатации состоявшихся чрезвычайных ситуаций и их последствиях (страховых случаях), практически не допускает их раннее обнаружение и предупреждение. Та же ситуация с понятием «техногенная катастрофа», констатирующим лишь то, что она свершилась. Строгое научное определение понятия катастрофы, принятое и доведенное в данной статье до прикладного уровня, пока нуждается в технической «обкатке», наполнении соответствующим содержанием и понятиями с последующим его введением в стандарты.

Таким образом, понятно, что по направлению ОКБЗ впереди предстоит большая работа по созданию нормативной правовой базы для разработки и внедрения СКБЗ, дифференцирования потенциальных проблем по их причинам, следствиям и контролируемым параметрам.

4.11. Кадровое обеспечение направления ОКБЗ. Проработка актуальных вопросов системного кадрового обеспечения направления ОКБЗ была проведена по согласованию с ведущим вузом теплоэнергетического комплекса РФ – Национальным исследовательским университетом МЭИ¹⁶. В условиях развивающейся ускоренным темпом эпидемии техногенных катастроф налицо критическая ситуация с кадрами, которые должны ответить на этот вызов современности. В частности, ожидается огромный спрос на подготовленных прикладных специалистов по профилю ОКБЗ, которых практически нет, и на данный момент их никто не готовит.

5. Планируемая выходная продукция по направлению ОКБЗ (уточняется на завершающей стадии разработки СКБЗ)

5.1. Собственно продукция:

- стационарные объектно-ориентируемые СКБЗ ПНГК и общетехнических СТС;
- сопровождающий системно увязанный с СКБЗ ППР;
- портативные объектно-ориентируемые модификации СКБЗ СТС;
- средства обеспечения безопасности периметров и границ СТС;
- технический регламент, стандарты и своды правил, адекватные концепции ОКБЗ;
- программное обеспечение СКБЗ и в целом направления ОКБЗ СТС;
- технология СКБЗ и в целом направления ОКБЗ СТС.

5.2. Предоставляемые услуги:

- техническое обслуживание СТС по критериям ОКБЗ;
- выполнение предпроектных (изыскательских), проектных и монтажных работ по вводу выходной продукции ОКБЗ в штатную эксплуатацию;
- начальная и актуализируемая по регламенту адаптация СКБЗ к конкретным СТС;
- начальная и актуализируемая паспортизация СТС по критериям ОКБЗ; авторское научно-техническое сопровождение выходной продукции по ОКБЗ.

В заключение необходимо сделать следующие выводы.

1. Техногенная безопасность СТС не определяется локальной безопасностью составляющих их элементов.
2. Механизм развития техногенных катастроф определяется выходом СТС на неподконтрольный в настоящее время режим структурной неустойчивости системы.
3. Существующие системы диагностирования и мониторинга СТС принципиально не решают задач ОКБЗ.
4. Сформирована требующая доводки базовая симптоматика для раннего обнаружения развития техногенных катастроф.
5. Отработан требующий доводки подход к обеспечению защищенности ПНГК без нарушения, как правило, режима их штатной эксплуатации.
6. Обоснована необходимость создания системно увязанного с СКБЗ ПНГК ППР

¹³ Затырко В.А., Денисевич Е.В., Кожина Л.Ю. и др. Инновационные возможности и перспективы использования космических технологий для оптимизации маркшейдерско-геодезических работ на месторождениях ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. – Спецвыпуск № 732 «Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса».

¹⁴ Закон РФ от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах» и Постановление Правительства РФ № 392 «О лицензировании производства маркшейдерских работ».

¹⁵ СТО «Газпром добыча Ямбург» 3.1-315-2011. Проведение наземного гравиметрического мониторинга разработки сеноманских газовых залежей месторождений ООО «Газпром добыча Ямбург».

¹⁶ Доронкина Л.Н., Кунбутаев Л.М. Системный подход к решению проблем кадрового обеспечения направления комплексной техногенной безопасности и защищенности инфраструктуры РФ // Спецвыпуск № 732 «Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса».



для охвата неподконтрольных объектов их обустройства.

7. Предложены основы нового типа паспортизации ПНГК и объектов их обустройства по критериям комплексной безопасности и защищенности.

8. Обоснована необходимость объектной ориентируемости СКБЗ ПНГК, совместимой с существующими АСУТП и ИУС и допускающей возможность серийного производства СКБЗ.

9. Создан сертифицированный на взрывобезопасность прототип СКБЗ ПНГК.

10. Обоснована необходимость наземной и космической подсистем в составе СКБЗ ПНГК.

11. Обоснована возможность создания и освоения производства СКБЗ СТС.

12. СКБЗ ПНГК и общетехнических СТС позиционируется как базовые технологические компоненты Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в РФ.

Список литературы

1. Акимов В.А., Арабский А.К., Арутюнян С.Г. и др. Пути решения проблем обеспечения комплексной безопасности и защищенности критически важных объектов техноинфраструктуры // Тр. XX Междун. науч.-практ. конф. «Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий». – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. – С. 91–159.
2. Щеплянин Н.П., Златенков В.А., Ишимов И.Ш. Система управления РСЧС. – Новгород: АГЗ МЧС России, 1999. – 94 с.
3. Том Р. Структурная устойчивость и морфогенез. – М.: Логос, 2002. – 288 с.
4. Колесников А.А. Прикладная синергетика: основы системного синтеза. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. – 384 с.
5. Bak P. How nature works: The science of self-organized criticality. – New York: Springer-Verlag, 1996. – 205 p.
6. Малинецкий Г.Г., Подлазов А.В. Парадигма самоорганизованной критичности. Иерархия моделей и пределы предсказуемости // Изв. вузов. Прикладная нелинейная механика. – 1997. – Т. 5. – № 5. – С. 89–106.
7. Подлазов А.В. Теория самоорганизованной критичности – наука о сложности // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: Эдиториал УРСС, 2005. – С. 404–426.

8. Logan K., Xharrel H. Macsea повышает надежность военно-морских кораблей // Control Engineering. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://controlengrussia.com/proekty-i-vnedrenija/macsea-povyshaet-nadezhnost-voenno-morskikh-korablei/> (Дата обращения: 10.09.2015.)

9. Пределы предсказуемости / Под ред. Ю.А. Кравцова – М.: Центрком, 1997. – 256 с.

10. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику. – М.: УРСС, 2005. – 312 с.

11. Синергетика и прогнозы будущего // Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: Эдиториал УРСС, 2005. – 512 с.

12. Дедученко Ф.М., Лыков А.Г., Арабский А.К. и др. Интегрированная система координированного управления объектом // Патент РФ № 2297659, 2005.

13. Sornette D., Johansen A. Large financial crashes // Physica A. – 1997. – Vol. 245. – № 3–4. – P. 411–422.

14. Johansen A., Sornette D. Discrete scaling in earthquake precursory phenomena: Evidence in Kobe earthquake, Japan // J. Phys. France. – 1996. – Vol. 6. – P. 1391–1402.

15. Дедученко Ф.М. Объектно-ориентированные методы, технология и технические средства обеспечения комплексной безопасности распределенных производственных объектов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2013. – № 5. – С. 66–75; № 6. – С. 42–53.

16. Режимы с обострением. Эволюция идеи: Законы коэволюции сложных структур. – М.: Наука, 1998. – 255 с.

17. Дедученко Ф.М. Объектно-ориентированные способы и мультиагентные автоматизированные системы комплексной безопасности-защищенности территориально распределенных промышленных комплексов // Патент РФ № 2012138932, 2012.

References

1. Akimov V.A., Arabkiy A.K., Arutyunyan S.G., et al. *Trudy XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Global'naya i natsional'nye strategii upravleniya riskami katastrof i stikhiynykh bedstviy»* [Proceedings of the XX International scientific-practical conference «Global and national strategies for risk management and natural disasters»]. Moscow, FGBU VNIИ GOChS (FTs) Publ., 2015, pp. 91–159.
2. Shcheplyanin N.P., Zlatenkov V.A., Ishimov I.Sh. *Sistema upravleniya RSChS* [System of management of RSChS]. Novogorsk, AGZ MChS Rossii Publ., 1999. 94 p.
3. Tom R. *Strukturnaya ustoychivost' i morfogenez* [Structural stability and morphogenesis]. Moscow, Logos Publ., 2002. 288 p.
4. Kolesnikov A.A. *Prikladnaya sinergetika: osnovy sistemnogo sinteza* [Applied Synergetics: The basics of system synthesis]. Taganrog, TTI YuFu Publ., 2007. 384 p.
5. Bak P. *How nature works: The science of self-organized criticality*. New York, Springer-Verlag Publ., 1996. 205 p.

6. Malinetskiy G.G., Podlazov A.V. Paradigma samoorganizovannoy kritichnosti. Ierarkhiya modeley i predely predskazuemosti [The paradigm of self-organized criticality. Hierarchy of models and limits of predictability]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya nelineinaya mekhanika*, 1997, vol. 5, no. 5, pp. 89–106.

7. Podlazov A.V. Teoriya samoorganizovannoy kritichnosti – nauka o slozhnosti [The theory of self-organized criticality – the science of the complexity]. *Sbornik trudov «Budushcheye prikladnoy matematiki»* [Collection of works «Future of Applied Mathematics»]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2005, pp. 404–426.

8. Logan K., Xharrel H. *Macsea povyshayet nadezhnost' voyenno-morskikh korabley* [Macsea increases the reliability of the naval ships]. Available at: <http://controlengrussia.com/proekty-i-vnedrenija/macsea-povyshaet-nadezhnost-voenno-morskikh-korablei/> (accessed 10.09.2015)

9. *Predely predskazuemosti* [The limits of predictability]. Ed. Kravtsov Yu.A. Moscow, TsentrKom Publ., 1997. 256 p.

10. Malinetskiy G.G. *Khaos. Struktury. Vychislitel'nyi eksperiment. Vvedeniye v nelineynuyu dinamiku* [Chaos. Structures. Computing experiment. Introduction to non-linear dynamics]. Moscow, URSS Publ., 2005. 312 p.

11. Malinetskiy G.G. *Sinergetika i prognoz* [Synergetics and forecast]. *Sbornik trudov «Budushcheye prikladnoy matematiki»* [Collection of works «The Future of Applied Mathematics»]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2005. 512 p.

12. Deduchenko F.M., Lykov A.G., Arabkiy A.K., et al. *Integrirovannaya sistema koordinirovannogo upravleniya ob'ektom* [The integrated system for coordinated control of object]. Patent RF, no. 2297659, 2005.

13. Sornette D., Johansen A. Large financial crashes. *Physica A*, 1997, vol. 245, no. 3–4, pp. 411–422.

14. Johansen A., Sornette D. Discrete scaling in earthquake precursory phenomena: Evidence in Kobe earthquake, Japan. *J. Phys. France*, 1996, vol. 6, pp. 1391–1402.

15. Deduchenko F.M. *Ob'ektno-oriyentirovannyye metody, tekhnologiya i tekhnicheskiye sredstva obespecheniya kompleksnoy bezopasnosti raspredelennykh proizvodstvennykh ob'ektov* [Object-oriented methods, technology and the technical means of ensuring the comprehensive safety of distributed production facilities]. *Promyshlennyye ASU i kontrolyer*, 2013, no. 5, pp. 66–75; no. 6, pp. 42–53.

16. *Rezhimy s obostreniyem. Evolyutsiya idey: Zakony koevolyutsii slozhnykh struktur* [The sharpening regimes. The evolution of the idea: Laws co-evolution of complex structures]. Ed. Makarov I.M. Moscow, Nauka Publ., 1998. 255 p.

17. Deduchenko F.M. *Ob'ektno-oriyentirovannyye sposoby i mul'tiagentnyye avtomatizirovannyye sistemy kompleksnoy bezopasnosti – zashchishchennosti territorial'no raspredelennykh promyshlennykh kompleksov* [Object-oriented methods and multi-agent automated systems of integrated security – safety of geographically distributed industrial complexes]. Patent RF, no. 2012138932, 2012.